نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷
http://jwfst.gau.ac.ir

# اثر نانو ذرات اکسید مس بر خواص فیزیکی و مقاومت به آبشویی چوب پلیمر مونومر استایرین

*آرمین جعفری[۱]، اصغر امیدوار[۲] و داود رسولی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته حفاظت و اصلاح چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استاد گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۱٤؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۵/۱۵

## چکیده

**سابقه و هدف:** استفاده از مواد پلیمری برای حفاظت از چوب آلات در برابر عوامل مخرب بسیار تأثیرگذار می‌باشد، اما کاستی‌هایی نیز در آن مشاهده می‌شود. با پیشرفت تکنولوژی، استفاده از نانوذرات در صنعت حفاظت چوب به عنوان یک ماده حفاظتی کارآمد مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از مواد پلیمری به همراه نانو ذرات، می‌تواند بسیاری از خواص نامطلوب چوب مانند ثبات ابعادی و کاهش جذب آب در چوب را بهبود بخشد و همچنین باعث افزایش نفوذ این ذرات در داخل چوب شود. در این تحقیق از ماده پلیمری مونومر استایرین به‌همراه نانو اکسید مس جهت بهبود خواص فیزیکی و مقاومت به آبشویی نمونه‌های تیمار شده استفاده شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق از نمونه‌های چوبی گونه صنوبر دلتوئیدس (*eastern cottonwood*) به ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر، و از مونومر استایرین در دو غلظت (٤۰ و ۸۰ درصد) به همراه نانو اکسید مس در سه غلظت (۰، ۰/٤ و ۰/۸ درصد) برای تیمار استفاده شد. برای معلق کردن نانوذرات اکسید مس در مونومر استایرین، از دستگاه التراسونیک استفاده شد. از روش خلاء/ فشار، برای اشباع نمونه‌ها استفاده شد. پس از تیمار، نمونه‌ها در داخل ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور گشته و در فواصل مختلف زمانی، خواص فیزیکی و مقاومت به آبشویی آن‌ها محاسبه شد.

**یافته‌ها:** تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که بین نمونه‌های تیمار شده و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و نمونه‌های تیمار شده از جذب آب و واکشیدگی حجمی کمتری برخوردار بودند. میانگین میزان جذب آب و واکشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرین در غلظت ۸۰ درصد به‌همراه ۰/۸ درصد نانو اکسید مس پس از ۱٦۸ ساعت غوطه‌وری در آب به‌ترتیب ۳۳/۵ و ٤/۵ درصد بوده، در حالی‌که برای نمونه‌های شاهد این مقدار به‌ترتیب ۱۲۷ و ۱۱/۸ درصد بوده است. همچنین میزان آبشویی اندازه‌گیری شده برای نانوذرات اکسید مس در حضور مونومر استایرین در همه تیمارها کمتر از ۱ درصد اندازه‌گیری گردید.

**نتیجه‌گیری:** تیمار چوب با مونومر استایرین به‌همراه نانو اکسید مس، سبب کاهش جذب آب و همچنین افزایش ثبات ابعادی نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. همچنین در این نمونه‌ها میزان آبشویی مس در حد بسیار کمی مشاهده شد.

***واژه‌های کلیدی:*** چوب- پلیمر، پلی استایرن، نانو اکسید مس، خواص فیزیکی، مقاومت به آبشویی

*مسئول مکاتبه: arminjafary44@yahoo.com

## مقدمه

چوب به‌عنوان یک ماده طبیعی و تجدیدپذیر دارای مصارف متعددی است که از زمان پیدایش بشر مورد استفاده قرار گرفته است. رشد روزافزون جمعیت موجب افزایش تقاضای محصولات چوبی و از سوی دیگر وجود برخی از معایب چوب، نظیر جذب رطوبت و به تبع آن ناپایداری ابعاد و تخریب توسط عوامل بیولوژیکی باعث شده مصرف بهینه و حفاظت از این ماده ارزشمند را به خصوص در کشورمان با منابع جنگلی محدود، به امر حیاتی مبدل نماید (۱۰). بنابراین لازم است که چوب‌آلات با روش‌های کاربردی و موثری حفاظت شوند. در گذشته، استفاده از مواد حفاظتی محلول در آب و محلول در حلال آلی بسیار مرسوم بوده است. اما با توجه به آگاهی روزافزون از خطرات زیست محیطی استفاده از این مواد برای حفاظت از چوب، محدودیت‌هایی در زمینه تولید، تجارت و استفاده از این قبیل مواد در کشورهای اروپایی و ایالت متحده اعمال شده است. در این بین استفاده از مواد حفاظتی بر پایه مس، کروم و آرسنیک مانند (CCA) به دو دلیل در جوامع بین‌المللی کنار گذاشته شده است: به‌دلیل آبشویی آرسنیک، این ماده باعث آلودگی و تخریب محیط زیست می‌شود و همچنین به‌دلیل آبشویی این مواد از چوب، مدت زمان سرویس و دوام چوب آلات کاهش می‌یابد (۵). بنابراین دانشمندان به دنبال روشی برای تثبیت این مواد در داخل چوب و حداقل آبشویی آن می‌باشند، زیرا عناصری مانند مس، روی و همچنین بور، بخش جدایی‌ناپذیر حفاظت محصولات چوبی و افزایش طول عمر آن‌ها در برابر عوامل مخرب مانند قارچ‌ها و موریانه‌ها می‌باشد (۷). با پیشرفت تکنولوژی در کشورهای پیشرفته از فناوری‌های جدید برای حفاظت چوب استفاده می‌شود و امروزه در دنیا از فناوری نانو به‌عنوان یک تکنولوژی کلیدی و تأثیرگذار بر علم و صنعت یاد می‌شود، زیرا فناوری نانو به‌عنوان یک انقلاب، جایگاه کشورها را در جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به توانایی و کارایی فراوان فناوری نانو، توسعه و کاربرد این فناوری در بهبود صنعت چوب و کاغذ امری مهم و ضروری است. از این رو فناوری نانو و تولید مواد در ابعاد نانو متری، موضوعی جذاب برای تحقیقاتی است که در دهه اخیر توجه زیادی را به خود معطوف داشته است. در این اندازه کوچک، سطح ذرات در مقایسه با حجم‌شان بزرگتر است، با افزایش سطح این ذرات واکنش‌پذیری مواد هم بیشتر می‌شود که سبب بالا رفتن توانایی‌شان در کاربردهای مختلف می‌شود (۱). با وجود این نگرانی‌های زیادی در خصوص استفاده از نانو مواد، وارد شدن آن به محیط زیست و خطرات آن وجود دارد (٤).

به کارگیری مواد پلیمری از روش‌های دیگری است که دانشمندان برای اصلاح چوب استفاده می‌کنند. با وجود این‌که چوب پلیمر مزیت‌های فراوانی برای چوب دارد، اما به‌صورت کامل نمی‌تواند چوب را در برابر عوامل مخرب و جذب رطوبت محافظت کند. مواد پلیمری مانند مونومر استایرین در اصلاح چوب استفاده می‌شود. مونومر استایرین[1] یا وینیل بنزن یک ترکیب آلی با فرمول شیمیایی $C6H5CH=CH2$ است. استایرن از یک حلقه بنزنی و یک گروه وینیل (بنیان اتیلن) متصل به آن تشکیل شده است. این هیدروکربن آروماتیک مایعی روغنی و بی‌رنگ است که به سرعت بخار می‌شود و دارای بوی مطبوعی است. استایرن ماده اولیه تولید پلی استایرن و بسیاری از کوپلیمرها است. این مونومر به مقدار کمی در آب قابل حل است ولی در اتر، اتانول و استون

1- Styrene Monomer

محلول است و به مقدار زیادی در بنزن حل می‌شود. در دمای معمولی به آرامی به پلیمر تبدیل می‌شود. هر چند دما بالاتر رود یا این‌که در معرض نور و یا مجاورت پراکسیدها قرار بگیرد، سرعت پلیمریزاسیون بیشتر می‌شود. از مزیت‌های استفاده از مونومر استایرین در چوب، می‌توان به افزایش مقاومت به پوسیدگی و ثبات ابعادی و تحت تأثیر قرار دادن خواص مکانیکی چوب اشاره کرد (۱۱). البته مونومر استایرین در غلظت‌های پایین‌تر نتوانسته چوب را کاملا از نظر بیولوژیکی و خواص فیزیکی محافظت کند واز این نظر دارای کاستی‌هایی می‌باشد، به‌طوری که محققین برای نمونه‌های تیمار شده با غلظت کمتر از ٤٠ درصد، جذب آب بیشتر از ٦٠ درصد را گزارش کردند (۱۳).

استفاده از نانوذراتی مانند مس که یک قارچ‌کش بسیار قوی است می‌تواند از چوب در برابر پوسیدگی قارچی محافظت کند (۷). لذا استفاده از این نانو ماده در ساختار چوب- مونومر استایرین باعث افزایش مقاومت‌های بیولوژیکی و خواص فیزیکی چوب اصلاح شده خواهد شد، اما همچنان نگرانی در خصوص آبشویی این نانو ذرات وجود خواهد داشت. بنابراین در این تحقیق اثر تیمار با نانوذرات اکسید مس، بر روی مقاومت به آبشویی و خواص فیزیکی چندسازه چوب‌پلیمر هدف بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

نمونه چوب مورد استفاده در این تحقیق، گونه صنوبر دلتوئیدس (*eastern cottonwood*) بود که از جنگل شصت کلاته دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، واقع در ۱۲ کیلومتری جنوب غربی شهر گرگان تهیه و مورد استفاده قرار گرفت و سپس با رعایت جهت‌های شعاعی و مماسی به ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ میلی‌متر برای اندازه‌گیری خواص فیزیکی که عاری از هرگونه گره، ترک و پوسیدگی قارچی بودند، تبدیل شدند.

نانو اکسید مس مورد استفاده با متوسط اندازه ذرات ٤٠ نانومتر از شرکت آمریکایی US Nano تهیه گردید.

**آماده‌سازی نمونه‌ها:** اطلاعات تیمارهای مورد استفاده در این بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. در این بررسی از دو غلظت متفاوت مونومر استایرین برای تیمار نمونه‌ها استفاده شد. برای تهیه این محلول، ابتدا مونومر استایرین در دو سطح ٤٠ و ۸۰ درصد با اتانول ۹٦ درصد رقیق شده و سپس با ۲ درصد بنزوئیل پروکساید به‌عنوان آغازگر واکنش و ۱ درصد وزنی اتیلن گلیکول دی‌متااکریلات به‌عنوان اتصال دهنده عرضی ترکیب شد (۱۲). در ادامه برای تهیه سوسپانسیون موردنظر، از نانو ذرات مس با دو غلظت ۰/٤ و ۰/۸ درصد که با مونومر استایرین مخلوط و با همزن مغناطیسی به‌مدت ۳۰ دقیقه همزده شد. از دستگاه التراسونیک نیز برای معلق کردن بهتر مواد به‌مدت ٤٠ دقیقه با قدرت ۲۰۰ وات استفاده شد و سوسپانسیون موردنظر تحت امواج التراسونیک قرار گرفت.

**جدول ۱- معرفی کد تیمارها.**

Table 1. The introduction of treatments Code.

| کد تیمار<br>Code treatments | توضیحات<br>Description |
|---|---|
| W | شاهد<br>untreated |
| $A_{40}$ | چوب ـ پلیمر اشباع شده با مونومر استایرین ٤٠ درصد<br>Wood - polymer impregnated with 40% Styrene monomer |
| $A_{80}$ | چوب ـ پلیمر اشباع شده با مونومر استایرین ٨٠ درصد<br>Wood - polymer impregnated with 80% Styrene monomer |
| $A_{40}N_{0.4}$ | چوب- پلیمر اشباع شده با سوسپانسیون محتوی ٤٠ درصدمونومر استایرین + ٠/٤ درصد نانو اکسید مس<br>Wood - polymer impregnated with suspension that contains 40 percent Styrene monomer+ 0.4% nano-copper oxide |
| $A_{40}N_{0.8}$ | چوب ـ پلیمراشباع شده با سوسپانسیون محتوی ٤٠ درصد مونومر استایرین + ٠/٨ درصد نانو اکسید مس<br>Wood - polymer impregnated with suspension that contains 40 percent Styrene monomer + 0.8% nano-copper oxide |
| $A_{80}N_{0.4}$ | چوب ـ پلیمر اشباع شده با سوسپانسیون محتوی ٨٠ درصد مونومر استایرین + ٠/٤ درصدنانو اکسید مس<br>Wood - polymer impregnated with suspension that contains 80 percent Styrene monomer + 0.4% nano-copper oxide |
| $A_{80}N_{0.8}$ | چوب ـ پلیمر اشباع شده با سوسپانسیون محتوی ٨٠ درصد مونومر استایرین + ٠/٨ درصد نانو اکسید مس<br>Wood - polymer impregnated with suspension that contains 80 percent Styrene monomer+ 0.8% nano-copper oxide |

**اشباع نمونه‌ها با سوسپانسیون موردنظر:** برای اشباع نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌های چوبی در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٢٤ ساعت جهت رسیدن به رطوبت صفر درصد خشک شدند و در ادامه پس از متعادل‌سازی در دسیکاتور به‌مدت ۱۵ دقیقه و توزین، به سیلندر اشباع آزمایشگاهی منتقل شدند. در این تحقیق برای اشباع نمونه‌ها از فرایند خلاء/ فشار استفاده گردید. برای این منظور ابتدا خلایی به اندازه ۰/۸ بار در مدت ۱۵ دقیقه و سپس فشاری معادل ۸ بار و به‌مدت ۳۰ دقیقه اعمال گردید (۱۱).

درصد افزایش وزن نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ تعیین گردید:

رابطه (۱) $$WPG = \frac{W1-W0}{W0} \times 100$$

WPG= افزایش وزن (درصد)، $W_{ut}$= وزن خشک نمونه قبل از تیمار، $W_t$= وزن خشک نمونه بعد از تیمار

**اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مقاومت به آبشویی:** جذب آب و واکشیدگی ابعاد نمونه‌ها بر اساس استاندارد ایزو ٤٨٦٠ انجام شد. بدین منظور تعداد ۵ نمونه برای هر تیمار وزن و ابعاد آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس در بشر حاوی آب مقطر با دمای ۲±۲۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند و در فواصل زمانی مختلف، جذب آب و واکشیدگی ضخامت آن‌ها اندازه‌گیری شده که برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم و برای اندازه‌گیری ضخامت آن‌ها از کولیس با دقت ۰/۰۲ میلی‌متر استفاده شد. مقدار جذب آب و واکشیدگی ضخامت نمونه‌ها از رابطه‌های زیر محاسبه شد (۱۱):

رابطه (۲) $$\text{Swelling (\%)} = \frac{V1-V0}{V0} \times 100$$

Swelling (%): درصد واکشیگی حجمی $v_1$: حجم نمونه‌ها بعد از غوطه‌وری $v_0$: حجم اولیه (خشک) نمونه‌ها

رابطه (۳) $Wu^{1}(\%) = \frac{w1-w0}{w0} \times 100$

Wu (%): درصد جذب آب بعد از غوطه‌وری $w_1$: وزن نمونه‌ها بعد از غوطه‌وری $w_0$: وزن نمونه‌ها قبل از غوطه‌وری

میزان مس آبشویی شده از نمونه‌ها، بر اساس استاندارد AWPA[۲] شماره E11 ـ 06 محاسبه گردید (۲). بدین منظور تعداد ۵ نمونه از هر تیمار در یک ظرف ۵۰۰ میلی‌لیتری و غوطه‌ور در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، به‌مدت ۱٤ روز قرار گرفتند. آب حاصل از آبشویی پس از ٦ ساعت و ۱، ۲، ۳، ٤، ۵، ٦، ... و ۱٤ روز جمع‌آوری شده و برای تعیین میزان مس موجود در ماده آبشویی شده از دستگاه AAS[۳] استفاده شد و مقدار کل مس آبشویی شده در طول دوره آبشویی محاسبه شد. درصد آبشویی از طریق میانگین نرخ متوسط ۵ نمونه آبشویی شده، محاسبه شده و تیمارها با یکدیگر مقایسه شدند.

## روش تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش برای بررسی عامل‌های موردنظر از آزمون تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS در قالب طرح کاملا تصادفی، در سطح احتمال ۰/۰۵ صورت گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری درصد افزایش وزن نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف سوسپانسیون نانو اکسید مس با مونومر استایرین در جدول ۲ آمده است.

**جذب آب:** میانگین درصد جذب آب نمونه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف مونومر استایرین و همچنین سوسپانسیون آن با نانو اکسید مس و نمونه شاهد، در فواصل مختلف زمانی غوطه‌وری در آب در شکل ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان غوطه‌وری میزان جذب آب نیز افزایش می‌یابد که بیشترین میزان جذب آب در همه نمونه‌ها مربوط به ۲٤ ساعت نخست غوطه‌وری می‌باشد. زیرا در این فاصله زمانی حفرات چوب اشباع از آب شده و در ادامه، تمایل کمتری به جذب آب از خود نشان می‌دهد. با افزایش غلظت مونومر استایرین و همچنین نانو اکسید مس، جذب آب کاهش می‌یابد. به‌طوری که کمترین جذب آب مربوط به سوسپانسیون مونومر استایرین با غلظت ۸۰ درصد و نانو اکسید مس ۰/۸ درصد می‌باشد.

همچنین با افزایش غلظت مونومر استایرین و ذرات نانو اکسید مس، جذب آب نمونه‌ها کمتر شده است. عقیده بر این است که مونومر استایرین با نفوذ به داخل حفرات موجود در ساختار چوب و پوشاندن سطوح آزاد، به‌عنوان یک مانع فیزیکی عمل کرده و سبب کاهش میزان جذب آب می‌شود (۱۱). نمونه‌های اشباع شده با سوسپانسیون نانو اکسید مس و مونومر استایرین دارای جذب آب کمتری نسبت به نمونه‌های پلیمری فاقد نانو ذرات بوده‌اند. در تحقیقی که به بررسی توزیع میکرو نانوذرات کربنات مس و اکسید آهن در تیمار چوب انجام شد، نتایج نشان داد که ذرات مس در داخل حفرات و مسیرهای جریان مایعات در چوب رسوب کردند (۸). بنابراین می‌توان گفت که این امر به‌دلیل رسوب نانوذرات اکسید مس و انسداد حفرات ریز موجود در ساختار چوب توسط این ذرات بوده که منجر به کاهش بیشتر میزان جذب آب توسط چوب می‌شود. پدیده‌های واکشیدگی، هوازدگی، مقاومت به پوسیدگی و ضریب انتشار بخار آب بستگی به میزان جذب و حرکت آب دارد (۱۱).

1- Water uptake
2- American Wood Preservers Association
3- Atomic Adsorption Spectroscopy

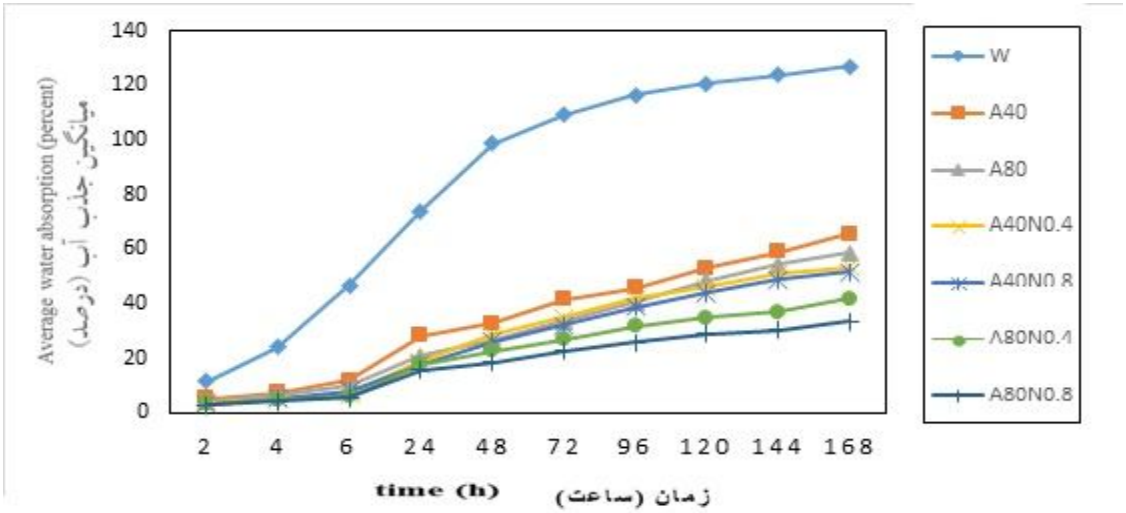
بنابراین با کاهش جذب آب تأثیر این عوامل مخرب نیز بر روی چوب کاهش می‌یابد.

بررسی داده‌های به‌دست آمده از تجزیه واریانس نمونه‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد بیان‌گر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌های جذب آب نمونه‌های اشباع شده در سطح پلیمر مورد استفاده بود (جدول ۳).

**جدول ۲- میانگین جذب سوسپانسیون نانو اکسید مس با مونومر استایرین توسط نمونه‌ها.**

Table 2. Average adsorbed suspension of nano-copper oxide with styrene monomer by the samples.

| ردیف | تیمار | میانگین جذب ماده توسط نمونه‌ها |
|---|---|---|
| Series | Treatment | Average absorbed by the samples |
| 1 | w | 0 |
| 2 | $A_{40}$ | 39.888 |
| 3 | $A_{80}$ | 78.535 |
| 4 | $A_{40}N0.4$ | 40.251 |
| 5 | A40N0/8 | 41.554 |
| 6 | A80N0/4 | 79.760 |
| 7 | A80N0/8 | 81.188 |




**شکل ۳- تأثیر تیمارها بر جذب آب در چوب صنوبر دلتوئیدس در زمان‌های مختلف.**

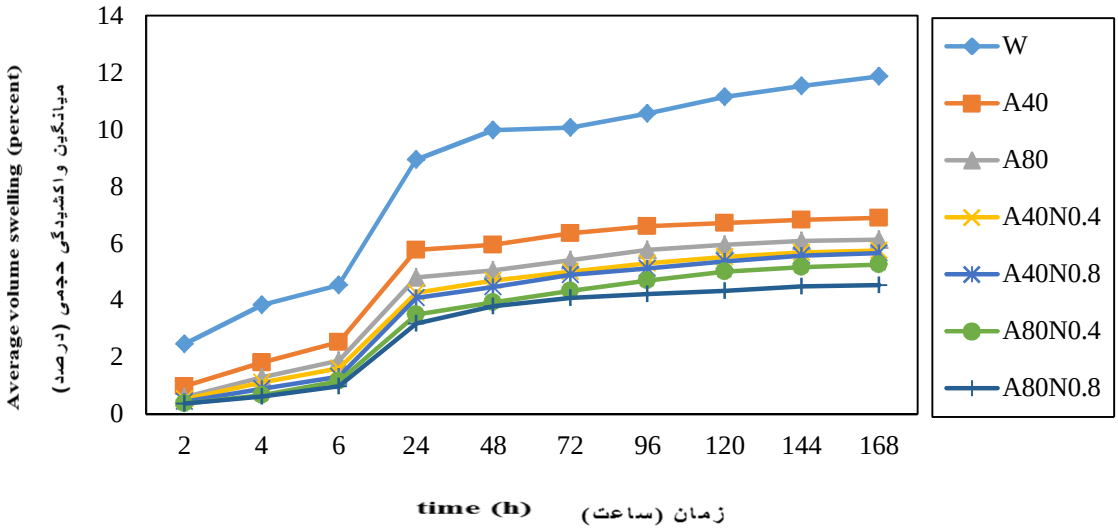
Table 3. The effect of treatments on water absorption in populous deltoids wood in different time.

**جدول ۳- تجزیه واریانس جذب آب نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرین و سوسپانسیون آن.**

Table 3. Analysis of variance water absorption of the samples treated by styrene monomer and suspensions.

| منبع تغییرات (S.O.V) | مجموع مربعات (S.S) | درجه آزادی (df) | میانگین مربعات (MS) | آماره آزمون (F) | سطح معنی‌داری (sig) |
|---|---|---|---|---|---|
| سطح پلیمر Polymers | 19029.594 | 2 | 9514.797 | 17.508 | 0.000 |
| سطح نانو Nano | 974.925 | 2 | 487.463 | 0.897 | 0.413 |
| پلیمر× نانو Polymers×Nano | 43.816 | 2 | 21.908 | 0.040 | 0.961 |
| خطا Error | 34236.685 | 63 | 543.439 | | |
| مجموع Total | 54285.020 | 69 | | | |

**واکشیدگی حجمی:** میزان افزایش حجم نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرین و سوسپانسیون آن در فواصل مختلف زمانی اندازه‌گیری شده و نتایج آن در شکل ٤ آمده است.




**شکل** Error! No text of specified style in document.٤- **میانگین واکشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده پس از ١٦٨ ساعت غوطه‌وری در آب.**

Figure 4. Average volumetric swelling of treated samples after 168 hours immersion in water.

نتایج به‌دست آمده از واکشیدگی ابعاد نمونه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین واکشیدگی مربوط به ٢٤ ساعت نخست غوطه‌وری در آب می‌باشد و پس از آن با گذشت زمان، افزایش واکشیدگی به‌خصوص در نمونه‌های تیمار شده بسیار اندک است. عقیده بر این است که مواد پلیمری به‌همراه نانو ذرات، حفرات سلولی چوب را پر کرده در نتیجه وقتی که چوب در آب غوطه‌ور می‌شود، در همان ساعات اولیه مقدار کمی از آب وارد چوب شده و حفرات و منافذ چوب کاملا اشباع می‌شوند و دیگر جایی برای ورود آب به داخل چوب وجود ندارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش غلظت پلیمر و نانو ذرات اکسید مس، از میزان واکشیدگی کاسته شده که نشان‌دهنده تأثیر مثبت ماده موردنظر بر روی کاهش واکشیدگی نمونه‌ها است. به‌طوری که نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرین با غلظت ٤٠ درصد (٦/٩١ درصد) و نمونه‌های تیمار شده با سوسپانسیون مونومر استایرین با غلظت ٨٠ درصد و ٠/٨ درصد نانو اکسید مس (٤/٥٤ درصد) بیشترین و کمترین واکشیدگی ابعاد را در بین نمونه‌های تیمار شده داشته‌اند. در تحقیقی که راشمی و همکاران (٢٠١٢) بر روی خواص فیزیکی نمونه‌های چوب سیمائل تیمار شده با نانو اکسید روی در غلظت‌های مختلف (٠/٥، ١ و ١/٥) انجام دادند، نتایج نشان داد که نمونه‌های تیمار شده با بیشترین غلظت نانو اکسید روی، از کمترین واکشیدگی حجمی برخوردار بودند (١٥). که نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مطابق با آن می‌باشد.

محاسبه تجزیه واریانس اختلاف میانگین واکشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده در سطح اعتماد ٩٥ درصد، نشان داد که نمونه‌های تیمار شده

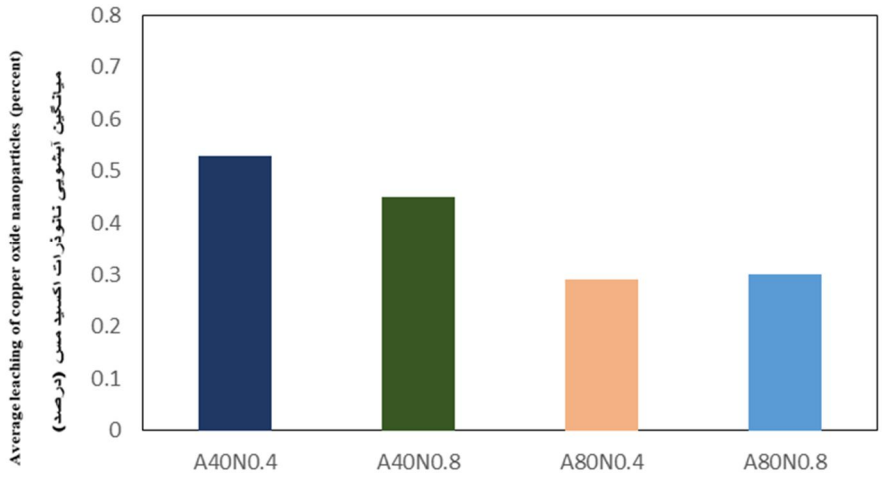
تنها در سطح پلیمر استفاده شده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ٤).

**جدول .Error! No text of specified style in document- تجزیه واریانس واکشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرین و سوسپانسیون آن.**

Table 3. Analysis of variance volumetric swelling of the samples treated by styrene monomer and suspensions.

| منبع تغییرات (S.O.V) | مجموع مربعات (S.S) | درجه آزادی (df) | میانگین مربعات (MS) | آماره آزمون (F) | سطح معنی‌داری (sig) |
|---|---|---|---|---|---|
| سطح پلیمر Polymers | 103.938 | 2 | 51.969 | 9.747 | 0.000 |
| سطح نانو Nano | 17.419 | 2 | 8.709 | 1.634 | 0.203 |
| پلیمر× نانو Polymers×Nano | 0.122 | 2 | 0.061 | 0.011 | 0.989 |
| خطا Error | 335.891 | 63 | 5.332 | | |
| مجموع Total | 2013.708 | 69 | | | |

**آبشویی:** میزان آبشویی نانو ذرات اکسید مس از نمونه‌های چوب پلیمر حاوی این ذرات طی ١٤ روز غوطه‌وری در آب توسط دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان آبشویی نانو ذرات اکسید مس بسیار اندک بوده و در همه تیمارها کمتر از ۱ درصد بوده است. این بدین معنی است که نانو ذرات به خوبی توانسته‌اند در داخل چوب تثبیت شوند و در برابر آبشویی از خود مقاومت نشان دهند. به‌نظر می‌رسد نانوذرات اکسید مس به‌دلیل اندازه بسیار ریزشان (٤٠ نانومتر) توانسته‌اند در داخل حفرات چوب و همچنین تا حدودی در داخل منافذ دیواره سلولی چوب نفوذ کرده و در آنجا رسوب کنند. در تحقیقی که مانتانیس و همکاران (٢٠١٤) بر روی مقاومت به آبشویی نمونه‌های تیمار شده با ۳ نوع مختلف از نانو ذرات (نانو اکسید روی، نانو اکسید مس و نانو بورات روی) انجام دادند (۷)، نتایج نشان داد که نانو اکسید مس دارای کمترین آبشویی در مقایسه با نانو ذرات دیگر بوده است که نتایج این تحقیق نیز همین موضوع را نشان می‌دهد. در تحقیق دیگری که نانو اکسید مس با اندازه ۵۰ نانومتر برای تیمار چوب مورد استفاده قرار گرفت، نتایج نشان داد که میزان آبشویی نانوذرات ۵ درصد بوده است (٤). در حالی‌که میزان آبشویی نانوذرات با ماده پلیمری در این تحقیق کمتر از ۱ درصد مشاهده شد.




شکل ۵- **میانگین آبشویی نانو ذرات اکسید مس از نمونه‌های تیمار شده پس از ١٤ روز غوطه‌وری در آب.**

Figure 5. Average leaching of copper oxide nanoparticles treated samples after 14 days of immersion in water

## نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد که نمونه‌های تیمار شده با مونومر استایرین به همراه نانو ذرات اکسید مس، خواص فیزیکی چوب صنوبر دلتوئیدس را در مقایسه با نمونه تیمار نشده (شاهد) افزایش داد. همچنین با افزایش غلظت ماده پلیمری و نانو ذرات مصرفی، نمونه‌ها مقاومت بیشتری را در برابر جذب آب و واکشیدگی حجمی از خود نشان دادند به‌طوری که میزان جذب آب و واکشیدگی حجمی نمونه‌های تیمار شده با این ماده در غلظت ۸۰ درصد به‌همراه ۰/۸ درصد نانو اکسید مس پس از ١٦٨ ساعت غوطه‌وری در آب به‌ترتیب (۱۸/۸۰ و ۳/۰۷ درصد) بود. در مورد آبشویی نیز نمونه‌های تیمار شده با سوسپانسیون مونومر استایرین، دارای کمترین میزان آبشویی بودند به‌طوری‌که همه تیمارها پس از ١٤ روز غوطه‌وری در آب، از آبشویی کمتر از ۱ درصد نانو ذرات اکسید مس برخوردار بودند.

## منابع

1. Ahmadinejad, A., Omidvar, A., Rafighi, A., and Masteri Farahani, M. 2011. Properties of nano-zinc oxide and nano- titanium oxide and their applications to improve the strength of wood. Gorgan, J. of Wood and Forest Science and Technology. 17: 3.41-50. (in persian), 2010. Standard method of determining the leachability of wood preservatives E11-97. In:Annual Book of AWPA Standards. AWPA, Birmingham, AL, Pp: 336e338.
3. Clausen, C.A. 2007. Nanotechnology: implications for the wood preservation industry. In: International Research Group on Wood Protection, Stockholm, Sweden, IRG/WP/07e30415, 15p.
4. Ding, X., Meneses, M.B., Albokhari, M.S., Richter, L.D., Matuana, M.L., and Heiden, A.P. 2013. “Comparing Leaching of different Copper Oxide Nanoparticles and Ammoniacal Copper Salt from Wood”. Macromolecular Materials and Engineering Journals. Pp: 1335-1343.
5.Heiden, P., et al. 2011. "Nanotechnology: A NovelApproach to Prevent Biocide Leaching."46-48.

6. Lykidis, C., Mantanis, G., Adamopoulos, S., Kalafata, K., and Arabatzis, I. 2013. Effects of nano-zinc oxide and zinc borate impregnation on brown rot resistance of black pine (Pinusnigra L.) wood. Wood Mater. Sci. Eng., 8: 242-244.
7. Mantanis, G., et al. 2014. "Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc -and copper-based nanocompounds." International Biodeterioration and Biodegradation (90): 140 -144.
8. Mantanis, G., and Jones, D. 2012. Innovative modification of wood with nanoparticulate treatment. In: proc, of the 6th European conference on wood modification, Pp: 447- 453.
9. Matsunaga, H., Kiguchi, M., and Evans, P. 2007. Micro-distribution of metal in wood treated with a nano- copper wood preservative. IRG on Wood Protection Doc. No. IRG/WP 07-40360.
10. Mohebbi, B. 2003. Modified wood and lignocellulosic materials and their technologies. Tehran, First National Conference on Processing and Applications of Cellulose. 405-408. (in persian)
11. Omidvar, A. 2009. Wood-polymer composite. Gorgan Univ. Press, 127p. (In persian)
12. Omidvar, A., and Abdolmaleki, J. 2002. Preparation of wood-polymer of Tabrizi Populus with styrene monomers on the direct heating method. Gorgan, J. of Wood and Forest Science and Technology. 9: 4.128-134. (in persian)
13. Omidvar, A., and Ruddick, J. 2004. The influence of low styrene content on the decay resistance of an aspen wood-polymer composite, Forest Prod. J. 54(10): 57-58.
14. Parsapajouh, D., Faezipour, M., Taghiyareh, H. 1996. Industrial Timber Preservation. Tehran univ. press, 657p. (in persian)
15. Rashmi, R., Devi, K., and Tarun, K. 2012. Effects of Nano- ZnO on Thermal, Mechanical, UV Sta Physical Properties of wood polymer composites. Department of chemical sciences, Tazpur University, Napalm -744028, India, Pp: 3870-3880.
16. Schneider, M.H., Phillips, J.G. 2000. Physical properties of wood-polymer composites. Journal of Forest Engineering. 11: 1, 83-89.
17. Zhang, Y., Wu, Y., Chen, M., and Wu, L. 2009. Fabrication method of $TiO_2$ -$SiO_2$ hybrid capsules and their UV -protective property. Vol 353, Pp: 216-225.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
*J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 25 (1), 2018*
*http://jwfst.gau.ac.ir*

# The effect of nano copper oxide on physical properties and leaching resistance of wood-Polystyrenepolymer

***A. Jafari[1], A. Omidvar[2] and D. Rasouli[3]**
[1]M.Sc. Graduated of Wood Preservation and Modification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [2] Professor Dept., of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [3]Assistant Prof., Dept., of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
Received: 02/03/2016; Accepted: 08/06/2017

## Abstract
**Background and objectives:** Nowadays, some attempts are done to use nanoparticles as a preservative for wood. It seems that the using nanoparticles with polymeric materials could improve undesirable properties of wood such as dimensional stability and leaching of nano particles. In this study, physical properties and leach resistance of eastern cottonwood-polymers that treated with copper oxide nanoparticles were studied.
**Materials and methods:** Wood samples with 20×20×20 mm dimensions were papered and then impregnated with polymers and nano copper oxide by full cell method. In this research variable factors were concentration of Polystyrene (40 and 80 percent) and nano copper oxide (0, 0.4 and 0.8 percent). After preparing Samples, they were immersed in 100 ml of DI water and their water absorption, volumetric swelling and leach resistance were calculated.
**Results:** Obtained results showed that treated samples had less volume of water absorption and volumetric swelling. For example, the average water absorption and swelling volume after 168 hours immersion in water were 33.5 and 4.5 percent respectively for samples that treated by Polystyrene at concentration of 80 percent and nano copper oxide at concentration 8.0 percent, while these values were 127 and 11.8 percent respectively for control samples. The rate of leaching copper oxide in the presence of Polystyrene was less than 1% for all the treatments.
**Conclusion:** Treating Wood with nano copper oxide in presence of Polystyrene reduced water absorption and improved dimensional stability. Moreover, these samples had a little rate of copper leaching.

***Keywords:*** Wood-polymer, Nano-copper oxide, Polystyrene, Physical properties, Leaching resistance

*Corresponding author: arminjafary44@yahoo.com